



<b>TRANSMITTAL FORM</b>  (to be used for all correspondence after initial filing)	Application Number	10/735,465
	Filing Date	December 12, 2003
	First Named Inventor	Dr. Bernhard Stegmüller
	Art Unit	
	Examiner Name	
Total Number of Pages in This Submission	Attorney Docket Number	MAIKP108US

ENCLOSURES (Check all that apply)		
<input type="checkbox"/> Fee Transmittal Form	<input type="checkbox"/> Drawing(s)	<input type="checkbox"/> After Allowance Communication to Group
<input type="checkbox"/> Fee Attached	<input type="checkbox"/> Licensing-related Papers	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences
<input type="checkbox"/> Amendment/Reply	<input type="checkbox"/> Petition	<input type="checkbox"/> Appeal Communication to Group (Appeal Notice, Brief, Reply Brief)
<input type="checkbox"/> After Final	<input type="checkbox"/> Petition to Convert to a Provisional Application	<input type="checkbox"/> Proprietary Information
<input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s)	<input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation	<input type="checkbox"/> Status Letter
<input type="checkbox"/> Extension of Time Request	<input type="checkbox"/> Change of Correspondence Address	<input type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below):
<input type="checkbox"/> Express Abandonment Request	<input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer	
<input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement	<input type="checkbox"/> Request for Refund	
<input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s)	<input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s) _____	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts/Incomplete Application	Remarks	
<input type="checkbox"/> Response to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53		

SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT	
Firm or Individual	Thomas G. Eschweiler, Eschweiler & Associates, LLC National City Bank Building, 629 Euclid Avenue, Suite 1210 Cleveland, OH 44114
Signature	
Date	January 16, 2004

CERTIFICATE OF TRANSMISSION/MAILING			
I hereby certify that this correspondence is being facsimile transmitted to the USPTO or deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Washington, DC 20231 on this date: January 16, 2004			
Typed or printed	Christine Gillroy		
Signature		Date	January 16, 2004

This collection of information is required by 37 CFR 1.5. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, Washington, DC 20231. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 (1-800-786-9199) and select option 2.

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

---



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 60 378.2

**Anmeldetag:** 16. Dezember 2002

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Optoelektronisches Bauelement mit einer Puls-  
erzeugungseinrichtung

**IPC:** H 01 S 5/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 5. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Eberst

## Beschreibung

Optoelektronisches Bauelement mit einer  
Pulserzeugungseinrichtung

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Bauelement mit einer Pulserzeugungseinrichtung mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

- 10 Ein derartiges optoelektronisches Bauelement ist in der Druckschrift „Mode-Locking at Very High Repetition Rates More than Terahertz in Passively Mode-Locked Distributed-Bragg-Reflector Laser Diodes“ (Shin Arahira, Yasuhiro Matsui, Yoh, Ogawa, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 32, No. 7, 15 JULY 1996) beschrieben. Das vorbekannte optoelektronische Bauelement weist eine Absorbereinrichtung auf, die 75  $\mu\text{m}$  lang ist und an einem Rand des optoelektronischen Bauelements angeordnet ist. Dieser Rand des optoelektronischen Bauelements ist mit einer Schicht aus Aluminiumdioxid und 20 Gold verspiegelt. Neben der Absorbereinrichtung, und zwar angrenzend, liegt eine Verstärkereinrichtung mit einer Länge von 750  $\mu\text{m}$ . Zwischen einer dem verspiegelten Rand des optoelektronischen Bauelements gegenüber liegenden Lichtaustrittsfläche des Bauelements und der 25 Verstärkereinrichtung liegen noch weitere elektrooptische Komponenten, und zwar eine Phasenkontrolleinrichtung mit einer Länge von 150  $\mu\text{m}$  und eine DBR-Einrichtung mit einer Länge von 90  $\mu\text{m}$ . Vom inneren Aufbau her handelt es sich bei dem vorbekannten optoelektronischen Bauelement um ein n-dotiertes Indiumphosphitsubstrat, auf dem eine MQW (Multiple Quantum Well)-Schicht als aktive Schicht abgeschieden ist. Diese aktive MQW-Schicht ist der Verstärkereinrichtung und der Absorbereinrichtung zugeordnet. Auf der aktiven MQW-Schicht ist eine p-dotierte Indiumphosphit (p-InP)-Schicht 30 aufgebracht, an die sich eine Kontaktschicht und eine Kontaktmetallisierung anschließen. Bei dem vorbekannten optischen Bauelement bilden der verspiegelte Rand und das 35

DBR-Gitter jeweils eine „Resonatorwand“ eines optischen Resonators; innerhalb dieses Resonators sind die Absorbereinrichtung und die Verstärkereinrichtung angeordnet.

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optoelektronisches Bauelement zum Erzeugen kurzer Lichtpulse mit hoher Wiederholrate anzugeben, bei dem die Lichtpulse einen hohen Kontrast bzw. ein hohes Extinktionsverhältnis aufweisen.

10

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem optoelektronischen Bauelement der eingangs angegebenen Art erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen optoelektronischen Bauelements sind in Unteransprüchen angegeben.

15

Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass auf dem Halbleitersubstrat eine weitere aktive Schicht aufgebracht ist, die der Absorbereinrichtung zugeordnet ist. Die weitere aktive Schicht kann dabei oberhalb oder unterhalb der einen aktiven Schicht angeordnet sein.

20

25

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen optoelektronischen Bauelements ist darin zu sehen, dass zusätzlich zu der einen aktiven Schicht (bzw. zu dem einen aktiven Schichtpaket) eine weitere aktive Schicht (bzw. ein weiteres aktives Schichtpaket) vorhanden ist. Somit ist es nämlich möglich, die eine aktive Schicht speziell im Hinblick auf ihre Verstärkereigenschaften für die Verstärkereinrichtung und die weitere aktive Schicht speziell für die Absorbereinrichtung zu optimieren. Durch das separate Optimieren der Absorbereinrichtung und der Verstärkereinrichtung lässt sich ein besonders hoher Kontrast bzw. ein hohes Extinktionsverhältnis der Lichtpulse erhalten.

30

35

Dies soll nun kurz erläutert werden: Ein Pulsbetrieb des optoelektronischen Bauelements setzt einerseits voraus, dass die Abhängigkeit  $A_v$  der Verstärkung  $V$  von der Trägerdichte  $N$  sehr klein ist gegenüber der Abhängigkeit  $A_a$  der Absorption  $A$  von der Trägerdichte  $N$ ; es muss also gelten:

$$A_v = \delta V / \delta N \ll A_a = \delta A / \delta N$$

Andererseits ist es im Hinblick auf einen hohen Kontrast bzw. ein hohes Extinktionsverhältnis der Lichtpulse darüber hinaus erforderlich, dass eine starke Sättigung der optischen Verstärkung in der Verstärkereinrichtung vorhanden ist. Beide Kriterien lassen sich bei dem optoelektronischen Bauelement gemäß der Erfindung sehr gut erfüllen, weil sich nämlich beispielsweise die Bandabstände der beiden aktiven Schichten jeweils getrennt einstellen lassen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen optischen Bauelements ist darin zu sehen, dass aufgrund der zwei aktiven Schichten mehr Freiheit in Bezug auf die geometrische Dimensionierung und Einstellung der Arbeitsparameter, wie z. B. des Stromes in der Verstärkereinrichtung und der Spannung in der Absorbereinrichtung, erreicht wird.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird eine Resonatorwand des optischen Resonators durch einen verspiegelten Rand des Bauelements gebildet. Die Absorbereinrichtung grenzt vorteilhaft an den verspiegelten Rand des Bauelements unmittelbar an.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens eine der beiden aktiven Schichten eine QD (Quantum Dot)- oder eine MQD (Multiple Quantum Dot)-Schicht ist. Insbesondere das genannte erste Kriterium, nach dem die Abhängigkeit  $A_v$  der Verstärkung  $V$  von der Trägerdichte  $N$  sehr viel größer sein

soll als die der Absorption, lässt sich dann besonders gut und damit vorteilhaft erfüllen.

Durch das Vorsehen einer QD-Schicht oder einer MQD-Schicht in  
5 der der Verstärkereinrichtung zugeordneten aktiven Schicht  
kann vorteilhaft erreicht werden, dass auch bei relativ hohen  
Pulsleistungen sehr hohe Pulswiederholffrequenzen erzielt  
werden, da nämlich die „Erholung“ der Verstärkung bei QD-  
Schichten deutlich schneller als bei QW (Quantum Well) -  
10 Schichten erfolgt. Unter einer „Erholung“ der Verstärkung ist  
dabei zu verstehen, dass sich die zur Lichtpulserzeugung  
erforderlichen Ladungsträgerdichten relativ schnell wieder  
bilden bzw. erzeugen lassen, nachdem die Ladungsträgerdichte  
bei einem zuvor erzeugten Lichtpuls in starkem Maße reduziert  
15 wurde.

Im Hinblick auf eine besonders einfache und kostengünstige  
Fertigung des optoelektronischen Bauelements wird es als  
vorteilhaft angesehen, wenn die Lichtaustrittsfläche anstelle  
20 mit einer Entspiegelungsschicht stattdessen mit einer schwach  
reflektierenden Beschichtung versehen wird. Unter einer  
schwach reflektierenden Schicht ist dabei eine Schicht zu  
verstehen, deren Reflektionsgrad kleiner ist als der  
Reflektionsgrad des verspiegelten Randes des Bauelements.  
25 Damit kann die schwach reflektierende Beschichtung auch eine  
Resonatorwand des Resonators bilden. Im Übrigen unterscheidet  
sich diese vorteilhafte Ausgestaltung des optoelektronischen  
Bauelements auch ganz wesentlich von anderen  
optoelektronischen Bauelementen, bei denen Laserdioden und  
30 Elektroabsorptionsmodulatoren miteinander kombiniert sind;  
denn bei derartigen „Kombinationen“ mit Laserdioden und  
Elektroabsorptionsmodulatoren ist üblicherweise stets eine  
sehr gut entspiegelte Auskoppelendfläche bzw.  
Lichtaustrittsfläche vorhanden.

35

Um sicherzustellen, dass die von der Absorbereinrichtung und  
der Verstärkereinrichtung generierten Lichtpulse an der

Lichtaustrittsfläche des optoelektronischen Bauelements die erforderliche Ausgangsleistung erreichen, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Pulserzeugungseinrichtung eine weitere Verstärkereinrichtung aufweist, die neben der  
5 einen Verstärkereinrichtung, und zwar auf der der Absorbereinrichtung abgewandten Seite, angeordnet ist.

Zur Entkopplung der beiden Verstärkereinrichtungen wird es als vorteilhaft angesehen, wenn zwischen der einen  
10 Verstärkereinrichtung und der weiteren Verstärkereinrichtung eine Trenneinrichtung, insbesondere ein Bragg-Gitter, angeordnet ist. Die Trenneinrichtung kann dabei vorteilhaft auch eine Resonatorwand des Resonators bilden.

15 Um dabei in longitudinaler Richtung - also in Richtung des vom optoelektronischen Bauelement erzeugten Lichtstrahles - eine starke elektrische und optische Entkopplung zwischen den beiden Verstärkereinrichtungen zu erreichen, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Trenneinrichtung sich bis in  
20 die beiden aktiven Schichten hinein erstreckt.

In dem optoelektronischen Bauelement kann vorteilhaft zumindest eine weitere Pulserzeugungseinrichtung vorhanden sein, die sich zwischen der Lichtaustrittsfläche des  
25 optoelektronischen Bauelements und der einen Pulserzeugungseinrichtung befindet. Jede der weiteren Pulserzeugungseinrichtungen sollte dabei vorteilhaft jeweils zumindest eine Hilfs-Verstärkereinrichtung und zumindest eine Hilfs-Absorbereinrichtung umfassen.

30

Zur Entkopplung der Pulserzeugungseinrichtungen wird es als vorteilhaft angesehen, wenn zwischen der einen  
Pulserzeugungseinrichtung und der mindestens einen weiteren Hilfspulserzeugungseinrichtung mindestens ein Trennelement  
35 vorhanden ist.

Ein solches Trennelement kann vorteilhaft durch eine Ausnehmung, einen durch Ionenimplantation gebildeten Graben und/oder durch eine Gitterstruktur gebildet sein.

- 5 Im Übrigen wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die elektrischen Anschlusspads zur elektrischen Ansteuerung des optoelektronischen Bauelements, zumindest soweit es die Anschlusspads der Absorbereinrichtung betrifft, getapert sind. Eine getaperte Ausführung der elektrischen
- 10 Anschlusspads hat nämlich den Vorteil, dass diese auch für sehr hohe elektrische Frequenzen ein besonders gutes Übertragungsverhalten gewährleisten.

- Im Hinblick auf die Absorbereinrichtung wird es als
- 15 vorteilhaft angesehen, wenn diese mit einer Sperrspannung beaufschlagt ist, um ein möglichst schnelles Abführen der in der weiteren aktiven Schicht generierten Ladungsträgerpaare zu gewährleisten.

- 20 Um zu erreichen, dass die von dem optoelektronischen Bauelement erzeugten Lichtpulse möglichst jitterarm sind, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Absorbereinrichtung mit einer modulierten Sperrspannung beaufschlagt ist. Bei einer Modulation der Sperrspannung
- 25 lässt sich nämlich erreichen, dass die Lichtpulse durch die modulierte Sperrspannung getriggert werden, wodurch ein besonders jitterarmes Verhalten der Lichtpulse erreicht wird.

- Bei der Absorbereinrichtung kann es sich vorteilhaft um einen
- 30 Elektroabsorptionsmodulator (EAM) handeln.

- Der Erfindung liegt darüber hinaus die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Erzeugen optischer Lichtpulse anzugeben, bei dem ein besonders hoher Kontrast bzw. ein besonders hohes
- 35 Extinktionsverhältnis der Pulsfolgen erreicht wird.



Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren, bei dem ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement verwendet wird und an die Absorbereinrichtung eine modulierte Sperrspannung angelegt wird.

5

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass durch das Anlegen einer modulierten Sperrspannung das Erzeugen der Lichtpulse getriggert wird, so dass die erzeugten Lichtpulse sehr jitterarm sind.

10

Ein besonders jitterarmes Verhalten der Lichtpulse lässt sich in vorteilhafter Weise dann erreichen, wenn die Modulationsfrequenz der Sperrspannung derart eingestellt wird, dass die Pulsrate der Lichtpulse ein ganzzahliges Vielfaches der Modulationsfrequenz beträgt. Wird nämlich die Modulationsfrequenz entsprechend gewählt, wird ein „Einrasten“ der Lichtpuls-Erzeugung relativ zum elektrischen Modulationssignal erreicht.

20

Ein zuverlässiges „Einrasten“ der optischen Lichtpulse wird dabei vorteilhaft erreicht, wenn das ganzzahlige Vielfache kleiner als einhundert, insbesondere kleiner als elf gewählt wird.

25

Zur Erläuterung der Erfindung zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement,

30

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement,

Fig. 3 das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 in der Draufsicht,

35

Fig. 4 ein drittes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement und

Fig. 5 ein viertes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement.

- 5 In den Figuren werden identische oder vergleichbare Komponenten regelmäßig mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

10 In der Figur 1 erkennt man ein optoelektronisches Bauelement 10 mit einem Halbleitersubstrat 20. Bei dem Halbleitersubstrat 20 kann es sich beispielsweise um ein n-dotiertes Material aus dem III-V-Materialsystem handeln. Als Material kommt insbesondere Indiumphosphit oder Galliumarsenid in Frage.

15

Auf dem Substrat 20 ist eine aktive Schicht 30 und eine weitere aktive Schicht 40 - beispielsweise durch ein Abscheidungsverfahren - aufgebracht. Auf der weiteren aktiven Schicht 40 befindet sich eine Zwischenschicht 45 und eine 20 Deckschicht 50, die mit einer hochdotierten Kontaktschicht 60 versehen ist.

Wie sich in der Figur 1 erkennen lässt, ist die Kontaktschicht 60 beispielsweise durch einen Ätzschrift 5 strukturiert. Auf der strukturierten Kontaktschicht 60 befinden sich ein erster Kontakt 70, ein zweiter Kontakt 80 sowie ein dritter Kontakt 90.

Das optoelektronische Bauelement 10 weist drei Komponenten 30 auf, nämlich eine Absorbereinrichtung 100, eine Verstärkereinrichtung 110 sowie eine weitere Verstärkereinrichtung 120. Bei der Absorbereinrichtung 100 kann es sich vorteilhaft um einen Elektroabsorptionsmodulator (EAM) handeln.

35

Die Absorbereinrichtung 10 befindet sich dabei unmittelbar an einem verspiegelten Rand 130 des optoelektronischen

Bauelements 10 und ist mit dem ersten Kontakt 70 kontaktiert. Der Rand 130 ist mit einer sehr stark reflektierenden Schicht versehen, bei der es sich beispielsweise um eine Metallschicht handeln kann.

5

Neben der Absorbereinrichtung 100, und zwar auf deren dem Rand 130 abgewandten Seite, befindet sich die Verstärkereinrichtung 110, die durch den zweiten Kontakt 80 kontaktiert ist. An die eine Verstärkereinrichtung 110

10

schließt sich - auf der dem Rand 130 abgewandten Seite - eine Trenneinrichtung 140 an, die beispielsweise durch eine Bragg-Struktur bzw. ein Bragg-Gitter gebildet sein kann. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 1 ist die

15

Trenneinrichtung 140 durch vertikal verlaufende Schichten 150 gebildet, die jeweils eine Dicke von  $1\mu\text{m}$  nicht überschreiten und insgesamt ein Schichtpaket mit einer Breite zwischen  $2\mu\text{m}$  und  $50\mu\text{m}$  bilden.

20

Der verspiegelte Rand 130 und die Trenneinrichtung 140 bilden damit Resonatorwände eines Resonators, in dem die Absorbereinrichtung 100 und die Verstärkereinrichtung 110 angeordnet sind.

25

Auf der der Verstärkereinrichtung 110 abgewandten Seite der Trenneinrichtung 140 befindet sich die weitere Verstärkereinrichtung 120, die durch den dritten Kontakt 90 ansteuerbar ist. Die weitere Verstärkereinrichtung 120 ist an ihrer der Trenneinrichtung 140 abgewandten Seite durch eine Lichtaustrittsfläche 160 begrenzt.

30

Die Lichtaustrittsfläche 160 ist mit einer schwach reflektierenden Beschichtung 170 verspiegelt, bei der es sich beispielsweise um eine Oxid-oder Nitrid-Schicht handeln kann.

35

Die Länge  $L_1$  der Absorbereinrichtung 100 beträgt vorteilhaft 2 bis  $100\mu\text{m}$ . Die Verstärkereinrichtung 110 weist eine Länge  $L_2$  auf, die zwischen 50 und  $500\mu\text{m}$  liegen kann. Die weitere

Verstärkereinrichtung 120 hat eine Länge  $L_3$  zwischen 50 und 500  $\mu\text{m}$ .

Wie sich der Figur 1 darüber hinaus entnehmen lässt, sind die Absorbereinrichtung 100 und die Verstärkereinrichtung 110 durch eine Trennstelle 180 getrennt. Die Trennstelle 180 kann durch eine Ausnehmung oder durch einen durch Ionenimplantation erzeugten Graben gebildet sein. Die Breite der Trennstelle 180 sollte vorteilhaft 10  $\mu\text{m}$  nicht überschreiten.

Bezüglich der Schichtenfolge des optoelektronischen Bauelements 10 wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Dicke  $d$  der Deckschicht 50 einen Wert von 3  $\mu\text{m}$  nicht überschreitet. Das gesamte Schichtpaket bestehend aus der Deckschicht 50 sowie der einen aktiven Schicht 30 und der weiteren aktiven Schicht 40 sollte insgesamt eine Dicke  $D$  von 5  $\mu\text{m}$  nicht überschreiten.

Die eine aktive Schicht 30 ist für die Verstärkereinrichtung 110 optimiert und weist eine Multiple-Quantum-Well-Schicht (MQW-Schicht) oder eine Quantum-Dot- bzw. Multiple-Quantum-Dot-Schicht auf. Die Schichtdicke der aktiven Schicht 30 liegt vorteilhaft in der Größenordnung zwischen 200 und 400 nm. Die Schichtzusammensetzung von Quantum-Dot-Schichten ist für sich bekannt und beispielsweise in dem Artikel „Ultrafast Gain Recovery and Modulation Limitations in Self-Assembled Quantum-Dot Devices“ (T. W. Berg, S. Bischoff, I. Magnusdottir, J. Mork, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 13, NO. 6, JUNE 2001, Seiten 541 ff.) beschrieben.

Bei der weiteren aktiven Schicht 40 handelt es sich um eine Schicht, die speziell für die Absorbereinrichtung 100 optimiert ist. Diese weitere aktive Schicht 40 kann eine MQW-Schicht oder eine QD-Schicht bzw. eine MQD-Schicht sein und eine Dicke von vorzugsweise 50 nm bis 100 nm aufweisen.

Bezüglich der Schichtdicken der beiden aktiven Schichten 30 und 40 sei der Vollständigkeit halber angemerkt, dass das Verhältnis der Schichtdicken der beiden Schichten zueinander für sich keine wesentliche Rolle spielt; wichtig ist, dass die eine Schicht 30 speziell für die Verstärkereinrichtung 110 und die weitere aktive Schicht 40 speziell für die Absorbereinrichtung 100 optimiert ist.

Die Optimierung der beiden aktiven Schichten 30 und 40 erfolgt in erster Linie im Hinblick auf den Bandabstand. So weist die eine aktive Schicht 30 einen Bandabstand auf, der speziell für die Verstärkereinrichtung 110 und damit für einen Verstärkerbetrieb geeignet ist. Die weitere aktive Schicht 40 ist so optimiert, dass die Absorbereinrichtung 100 gut arbeitet. Durch entsprechende Wahl der Bandabstände kann erreicht werden, dass die Abhängigkeit  $A_v$  der Verstärkung  $V$  der Verstärkereinrichtung 110 von der Trägerdichte  $N$  sehr klein ist gegenüber der Abhängigkeit  $A_a$  der Absorption  $A$  der Absorbereinrichtung 100 von der Trägerdichte  $N$ . Es gilt dann:

$$A_v = \delta V / \delta N \ll A_a = \delta A / \delta N$$

Außerdem lässt sich eine starke Sättigung der optischen Verstärkung in der Verstärkereinrichtung 110 erreichen.

Die eine aktive Schicht 30 und die weitere aktive Schicht 40 sollten vorzugsweise solche Bandabstände aufweisen, dass die nachfolgenden zwei Bedingungen erfüllt werden:

1. Bedingung:

$$E_t(\text{weitere aktive Schicht 40} = \text{„Absorberschicht“}) \approx h \nu$$

2. Bedingung:

$$E_t(\text{aktive Schicht 30} = \text{„Verstärkerschicht“}) - E_t(\text{weitere aktive Schicht 40} = \text{„Absorberschicht“}) \leq 30 \text{ meV}$$

Dabei bezeichnen  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum,  $\nu$  die optische Frequenz der Lichtpulse,  $E_t$  (aktive Schicht 30 = „Verstärkerschicht“) den Bandabstand für den strahlenden Übergang bei der aktiven Schicht 30 und  $E_t$  (weitere aktive Schicht 40 = „Absorberschicht“) den Bandabstand für den strahlenden Übergang bei der weiteren aktiven Schicht 40.

Besonders empfehlenswert ist es, wenn die Differenz der Bandabstände kleiner ist als 10 bis 15 meV, wenn also gilt:

10

$E_t$  (aktive Schicht 30 = „Verstärkerschicht“) -  $E_t$  (weitere aktive Schicht 40 = „Absorberschicht“)  $\leq 15$  meV

Das Bauelement 10 weist zusammengefasst eine Lichtpulserzeugungseinrichtung 190 auf, also eine Einrichtung, die Lichtpulse erzeugen kann bzw. soll. Der Wert der Verstärkung der Verstärkereinrichtung 110 ist hierfür geeignet zu wählen. Dabei ist es bei dem optoelektronischen Bauelement 10 gemäß der Figur 1 auch möglich, dass die Verstärkung  $V$  der Verstärkereinrichtung 110 lediglich einen Wert von  $V = 1$  erreicht und die Verstärkereinrichtung 110 somit lediglich als „optischer Phasenschieber“ arbeitet. Bei einem solchen Betrieb der Verstärkereinrichtung 110 wird zum Erreichen der gewünschten Ausgangsleistung der Lichtpulse die weitere Verstärkereinrichtung 120 genutzt.

In der Figur 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement im Querschnitt dargestellt. Das optoelektronische Bauelement gemäß der Figur 2 trägt das Bezugszeichen 200 und weist eine Pulserzeugungseinrichtung 210 auf. Die Pulserzeugungseinrichtung 210 entspricht von ihrem Aufbau her weitgehend der Pulserzeugungseinrichtung 190 des optoelektronischen Bauelements 10 gemäß der Figur 1. Die Pulserzeugungseinrichtung 210 weist somit die Absorbereinrichtung 100, die Verstärkereinrichtung 110, die Trenneinrichtung 140, sowie die weitere Verstärkereinrichtung

120 auf. Diese Komponenten 100, 110, 140 und 120 wurden bereits oben im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 1 erläutert. Die Pulserzeugungseinrichtung 210 ist bei dem optoelektronischen Bauelement 200 gemäß der  
5 Figur 2 derart angeordnet, dass die Absorbereinrichtung 100 unmittelbar an den verspiegelten Rand 220 des Bauelements 200 angrenzt.

Im Übrigen ist die Trenneinrichtung 140 gemäß der Figur 2  
10 geringfügig anders ausgestaltet als bei dem Ausführungsbeispiel gemäß der Figur 1; so gehen die vertikal verlaufende Schichten 150 nicht durch die beiden aktiven Schichten 30 und 40 hindurch, sondern durchdringen ausschließlich die Deckschicht 50.

15

An die Pulserzeugungseinrichtung 210 schließt sich an der dem verspiegelten Rand 220 gegenüberliegenden Seite eine erste Hilfspulserzeugungseinrichtung 300 an, die von der Pulserzeugungseinrichtung 210 durch eine Trennstelle 310  
20 getrennt ist. Bei der Trennstelle 310 kann es sich um eine Ausnehmung oder um einen durch Ionenimplantation erzeugten Graben handeln, dessen Breite 10  $\mu\text{m}$  und dessen Tiefe 2  $\mu\text{m}$  vorzugsweise nicht überschreiten sollte. Im Übrigen entspricht der Aufbau der ersten Hilfspulseinrichtung 300 vom  
25 Prinzipiellen her dem Aufbau der Pulserzeugungseinrichtung 190 gemäß der Figur 1.

Konkret weist die erste Hilfspulserzeugungseinrichtung 300 eine Hilfsabsorbereinrichtung 100', eine  
30 Hilfsverstärkereinrichtung 110' und eine weitere Hilfsverstärkereinrichtung 120' auf. Die Länge der Hilfsabsorbereinrichtung 100' ist dabei in der Figur 1 mit dem Bezugszeichen L1' bezeichnet. Die Länge der Hilfsverstärkereinrichtung 110' trägt das Bezugszeichen L2',  
35 und die Länge der weiteren Hilfsverstärkereinrichtung 120' trägt das Bezugszeichen L3'.

Die Längen  $L1'$ ,  $L2'$  und  $L3'$  sind bei der ersten  
Hilfspulserzeugungseinrichtung 300 für sich optimiert und  
müssen keine vorgegebene Relation bzw. Beziehung zu den  
entsprechenden Abmessungen der Pulserzeugungseinrichtung 210  
5 aufweisen.

An die erste Hilfspulserzeugungseinrichtung 300 schließt sich  
eine zweite Hilfspulserzeugungseinrichtung 400 an, die durch  
eine weitere Trennstelle 410 von der ersten

10 Hilfspulserzeugungseinrichtung 300 getrennt ist. Von ihrem  
Aufbau her kann die zweite Hilfspulserzeugungseinrichtung 400  
der Pulserzeugungseinrichtung 210 entsprechen. Dies bedeutet,  
dass die zweite Hilfspulserzeugungseinrichtung 400 ebenfalls  
eine Hilfsabsorbereinrichtung  $100''$ , eine  
15 Hilfsverstärkereinrichtung  $110''$  und eine weitere  
Hilfsverstärkereinrichtung  $120''$  aufweisen kann. Die Längen  
der Einrichtungen  $100''$ ,  $110''$  und  $120''$  sind in der Figur 2  
mit den Bezugszeichen  $L1''$ ,  $L2''$  und  $L3''$  gekennzeichnet.

20 An der der ersten Hilfspulserzeugungseinrichtung 300  
abgewandten Seite schließt sich an die zweite  
Hilfspulserzeugungseinrichtung 400 eine dritte  
Hilfspulserzeugungseinrichtung 500 an. Diese dritte  
Hilfspulserzeugungseinrichtung 500 ist wiederum mit einer  
25 Hilfsabsorbereinrichtung  $100'''$ , einer  
Hilfsverstärkereinrichtung  $110'''$  und einer weiteren  
Hilfsverstärkereinrichtung  $120'''$  ausgestattet. Die Längen  
dieser drei Komponenten sind in der Figur 2 mit den  
Bezugszeichen  $L1'''$ ,  $L2'''$  und  $L3'''$  gekennzeichnet.

30 Zwischen der dritten Hilfspulserzeugungseinrichtung 500 und  
der zweiten Hilfspulserzeugungseinrichtung 400 ist eine  
Trennstelle 510 in der Deckschicht 50 vorhanden.

35 An ihrer der zweiten Hilfspulserzeugungseinrichtung 400  
abgewandten Seite ist die dritte  
Hilfspulserzeugungseinrichtung 500 mit einer schwach



reflektierenden Beschichtung 600 versehen, die gleichzeitig die Lichtaustrittsfläche des optoelektronischen Bauelements 200 bildet.

- 5 Das optoelektronische Bauelement gemäß der Figur 2 kann derart dimensioniert werden, dass alle vier  
Pulserzeugungseinrichtungen 210, 300, 400 und 500 jeweils ihre eigenen Lichtpulse mit ihrer eigenen Wiederholrate generieren. Stattdessen ist es aber auch möglich, die  
10 Kopplung zwischen den einzelnen Pulserzeugungseinrichtungen derart einzustellen, dass das optoelektronische Bauelement 200 gemäß der Figur 1 Lichtpulse erzeugt, die lediglich eine einzige Pulsfrequenz bzw. Wiederholfrequenz aufweisen.  
Vorzugsweise ist das optoelektronische Bauelement 200 dann  
15 derart zu dimensionieren, dass die kürzeste Resonatorlänge der vier Pulserzeugungseinrichtungen die Pulswiederholfrequenz bestimmt.

- In der Figur 3 ist eine Draufsicht auf das optoelektronische  
20 Bauelement 200 gemäß der Figur 2 gezeigt. Man erkennt Anschluss pads 700 zum elektrischen Anschluss der Absorbereinrichtungen 100, 100', 100'' und 100'''. Darüber hinaus sind Anschluss pads 800 zum Anschluss der  
Verstärkereinrichtungen 110, 110', 110'' und 110''' sowie  
25 weitere Anschluss pads 810 zum elektrischen Anschluss der weiteren Verstärkereinrichtungen 120, 120', 120'' und 120''' vorgesehen.

- In der Figur 3 lässt sich erkennen, dass die elektrischen  
30 Anschluss pads 700 für die Absorbereinrichtungen getapert ausgeführt sind. Durch eine Taperung der elektrischen Anschluss pads 700 lässt sich ein besonders gutes elektrisches Übertragungsverhalten erreichen. So lassen sich die Absorbereinrichtungen beispielsweise mit einer elektrischen  
35 Sperrspannung beaufschlagen, deren elektrische Puls-Frequenz 10 GHz oder mehr betragen kann. Durch ein Anlegen einer

modulierten Sperrspannung an die Absorbereinrichtungen lässt sich ein Triggern der Lichtpulse erreichen.

Die Modulationsfrequenz der Sperrspannung für die elektrische Ansteuerung der Absorbereinrichtungen sollte dabei so gewählt werden, dass die Pulsrate der optischen Lichtpulse ein ganzzahliges Vielfaches der elektrischen Modulationsfrequenz der Sperrspannung beträgt. Ein besonders gutes Triggerverhalten lässt sich dann erreichen, wenn die Pulsrate der Lichtpulse ca. ein Zehnfaches der elektrischen Modulationsfrequenz beträgt. Das Triggern der Lichtpulse bietet dabei den Vorteil, dass ein besonders jitterarmes Verhalten der Lichtpulse erreicht wird, weil nämlich ein zeitliches Schwanken der Lichtpulse aufgrund eines „Einrastens der optischen Lichtpulse“ deutlich reduziert wird.

Für die Dimensionierung des optoelektronischen Bauelements 200 gemäß den Figuren 2 und 3 wird es als vorteilhaft angesehen, wenn die Breite  $b$  der optisch aktiven Zone ca.  $2\text{ }\mu\text{m}$  beträgt. Die Gesamtbreite  $B$  des optoelektronischen Bauelements 200 liegt dann bei ca.  $300\text{ }\mu\text{m}$ . Die Längen  $L_1$ ,  $L_1'$ ,  $L_1''$ ,  $L_1'''$  der Absorbereinrichtungen sollte dabei eine Länge von  $100\text{ }\mu\text{m}$  jeweils nicht überschreiten. Die Längen  $L_2$ ,  $L_2'$ ,  $L_2''$ ,  $L_2'''$  der Verstärkereinrichtungen sollte jeweils ungefähr  $200\text{ }\mu\text{m}$  betragen. Die Längen  $L_3$ ,  $L_3'$ ,  $L_3''$ ,  $L_3'''$  der weiteren Verstärkereinrichtungen sollten eine Länge von  $300\text{ }\mu\text{m}$  nicht überschreiten.

Zusammengefasst ist bei dem optoelektronischen Bauelement gemäß den Figuren 2 und 3 eine Pulserzeugungseinrichtung gemeinsam mit drei Hilfspulserzeugungseinrichtungen in einem einzigen Halbleitersubstrat monolithisch integriert.

Die Figur 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement in der

Draufsicht. Man erkennt eine Pulserzeugungseinrichtung 820 sowie zwei Hilfspulserzeugungseinrichtungen 830 und 840.

Bei der Pulserzeugungseinrichtung 820 kann es sich

5 beispielsweise um eine Pulserzeugungseinrichtung handeln, die der Pulserzeugungseinrichtung 190 gemäß der Figur 1 bzw. der Pulserzeugungseinrichtung 210 gemäß der Figur 2 entspricht. Die beiden Hilfspulserzeugungseinrichtungen 830 und 840 sind - im Gegensatz zu dem Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 2  
10 und 3 - nicht monolithisch in dem Halbleitersubstrat der Pulserzeugungseinrichtung 820 integriert, sondern davon getrennt. Die optische Verbindung zwischen den beiden Hilfspulserzeugungseinrichtungen 830 und 840 untereinander bzw. zu der Pulserzeugungseinrichtung 820 wird durch zwei  
15 passive Wellenleiter 850 und 860 gewährleistet, die beispielsweise Kunststoffwellenleiter (z. B. BCB (Benzocyclobuten)-Wellenleiter) oder Glaswellenleiter sein können.

20 Die passiven Wellenleiter 850, 860 sowie die drei Pulserzeugungseinrichtungen 820, 830 und 840 können auf einem Subträger, beispielsweise einem Silizium-Träger oder einem Glas-Träger aufgebracht sein. Die Wellenleiter 850 und 860 können auch durch (separate) Glasfasern gebildet sein.

In der Figur 4 sind außerdem die Anschlusspads 700 zum elektrischen Anschluss der Absorbereinrichtungen, die Anschlusspads 800 zum Anschluss der Verstärkereinrichtungen sowie die weiteren Anschlusspads 810 zum elektrischen  
30 Anschluss der weiteren Verstärkereinrichtungen dargestellt.

In der Figur 5 ist eine Draufsicht auf ein viertes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes optoelektronisches Bauelement dargestellt. Man erkennt in der  
35 Figur 5 Anschlusspads 700 für Absorbereinrichtungen, sowie Anschlusspads 800 für Verstärkereinrichtungen. Im Übrigen erkennt man Trenneinrichtungen 920, die die

Verstärkereinrichtungen untereinander bzw. von  
Absorbereinrichtungen trennen.

## Bezugszeichenliste

10	Optoelektronisches Bauelement
20	Halbleitersubstrat
30, 40	Aktive Schicht
45	Zwischenschicht
50	Deckschicht
60	Kontaktschicht
70, 80, 90	Kontakte
100	Absorbereinrichtung
100', 100'', 100'''	Hilfsabsorbereinrichtung
110, 120	Verstärkereinrichtung
110', 110'', 110'''	Hilfsverstärkereinrichtung
130	Verspiegelter Rand
140	Trenneinrichtung
150	Vertikale Schichten
160	Lichtaustrittsfläche
170	Beschichtung
180	Trennstelle
190, 210	Pulserzeugungseinrichtung
220	Verspiegelter Rand
300, 400, 500	Hilfspulserzeugereinrichtung
310	Trennstelle
410	Trennstelle
510	Trennstelle
600	Schwach reflektierende Schicht
700	Elektrische Anschluss pads
800	Anschluss pads
810	Weitere Anschluss pads
820	Pulserzeugungseinrichtung
830, 840	Hilfspulserzeugungseinrichtung
850, 860	Wellenleiter
920	Trenneinrichtungen

Patentansprüche

1. Optoelektronisches Bauelement (10) mit einer  
Pulserzeugungseinrichtung (190, 210) zum Erzeugen von  
5 Lichtpulsen
  - mit einem optischen Resonator,
  - mit einer Absorbereinrichtung (100) und
  - mit einer Verstärkereinrichtung (110), die gemeinsam mit  
10 der Absorbereinrichtung in dem optischen Resonator  
angeordnet ist,
  - wobei eine auf einem Halbleitersubstrat (20) des  
Bauelements (10) aufgebrachte aktive Schicht (30)  
vorhanden ist, die der Verstärkereinrichtung (110)  
zugeordnet ist,
  - 15 dadurch gekennzeichnet ,
    - dass eine weitere aktive Schicht (40) auf dem  
Halbleitersubstrat (20) vorhanden ist, die der  
Absorbereinrichtung (100) zugeordnet ist.
- 20 2. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch  
gekennzeichnet , dass eine Resonatorwand des optischen  
Resonators durch einen verspiegelten Rand (130, 220) des  
Bauelements (10) gebildet ist.
- 25 3. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 2, dadurch  
gekennzeichnet , dass die Absorbereinrichtung (100) an  
den verspiegelten Rand (130, 220) des Bauelements (10)  
unmittelbar angrenzt.
- 30 4. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorangehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet , dass mindestens  
eine der beiden aktiven Schichten (30, 40) eine QD(Quantum-  
Dot)- oder eine MQD(Multiple-Quantum-Dot)-Schicht ist.
- 35 5. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorangehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet , dass die der

Verstärkereinrichtung (110) zugeordnete aktive Schicht (30) eine QD-Schicht oder eine MQD-Schicht ist.

6. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Lichtaustrittsfläche (160) des Bauelements (10) mit einer reflektierenden Schicht versehen ist, deren Reflektionsgrad kleiner ist als der Reflektionsgrad des verspiegelten Randes (130) des Bauelements (10).

7. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulserzeugungseinrichtung (190, 210) eine weitere Verstärkereinrichtung (120) aufweist, die neben der einen Verstärkereinrichtung (110) auf der der Absorbereinrichtung (100) abgewandten Seite angeordnet ist.

8. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der einen und der weiteren Verstärkereinrichtung (110, 120) eine Trenneinrichtung (140), insbesondere ein Bragg-Gitter, angeordnet ist.

9. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Trenneinrichtung (140) bis in die beiden aktiven Schichten (30, 40) hinein erstreckt.

10. Optoelektronisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Pulserzeugungseinrichtung (190, 210) und der Lichtaustrittsfläche (160) zumindest eine Hilfspulserzeugungseinrichtung (300, 400, 500) vorhanden ist, die jeweils eine Hilfsverstärkereinrichtung (110', 110'', 110''') und eine Hilfsabsorbereinrichtung (100', 100'', 100''') umfasst.

11. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der  
Pulserzeugungseinrichtung (210) und der mindestens einen  
Hilfspulserzeugungseinrichtung (300) mindestens ein  
5 Trennelement (310) vorhanden ist.

12. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Trennelement (310)  
durch eine Ausnehmung, einen durch Ionenimplantation  
10 gebildeten Graben und/oder durch eine Gitterstruktur gebildet  
ist.

13. Optoelektronisches Bauelement nach einem der  
vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,  
15 dass elektrische Anschluss pads (700) für die  
Absorbereinrichtung (100) getapert sind.

14. Optoelektronisches Bauelement nach Anspruch 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass die  
20 Absorbereinrichtung (100) mit einer Sperrspannung  
beaufschlagt ist.

15. Verfahren zum Erzeugen von Lichtpulsen, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Absorbereinrichtung (100)  
25 eines optoelektronischen Bauelements nach einem der  
vorangehenden Ansprüche mit einer modulierten Sperrspannung  
beaufschlagt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch  
30 gekennzeichnet, dass die Modulationsfrequenz der  
Sperrspannung derart eingestellt wird, dass die Pulsrate der  
Lichtpulse ein ganzzahliges Vielfaches der  
Modulationsfrequenz beträgt.



23

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das ganzzahlige Vielfache kleiner als 100, insbesondere kleiner als 11 gewählt wird.

Zusammenfassung

Optoelektronisches Bauelement mit einer  
Pulserzeugungseinrichtung

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein optoelektronisches Bauelement (10) mit einer Pulserzeugungseinrichtung (190, 210) zum Erzeugen von Lichtpulsen mit einer Absorbereinrichtung (100), die an einen verspiegelten Rand (130, 220) des Bauelements (10) angrenzt, und mit einer Verstärkereinrichtung (110), die an der dem verspiegelten Rand (130) abgewandten Seite der Absorbereinrichtung (100) angeordnet ist, wobei eine auf einem Halbleitersubstrat (20) des Bauelements (10) aufgebrachte aktive Schicht (30) vorhanden ist, die der Verstärkereinrichtung (110) zugeordnet ist.

Um zu erreichen, dass die Lichtpulse einen hohen Kontrast bzw. ein hohes Extinktionsverhältnis aufweisen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine weitere aktive Schicht (40) auf dem Halbleitersubstrat (20) vorhanden ist, die der Absorbereinrichtung (100) zugeordnet ist.

25 Fig. 1

FIG 1

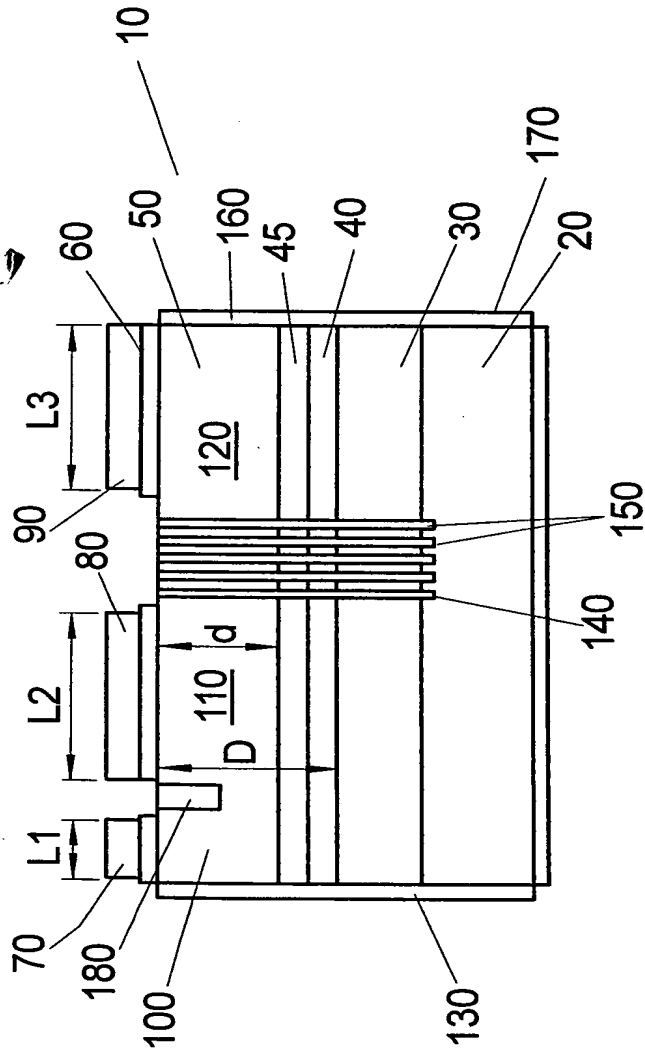


FIG 2

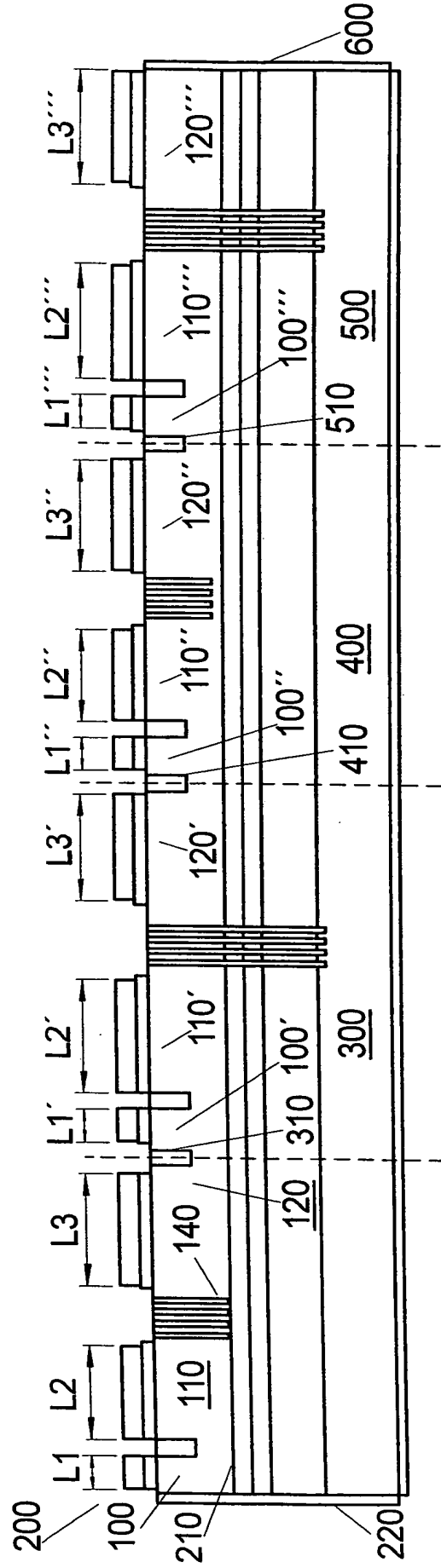
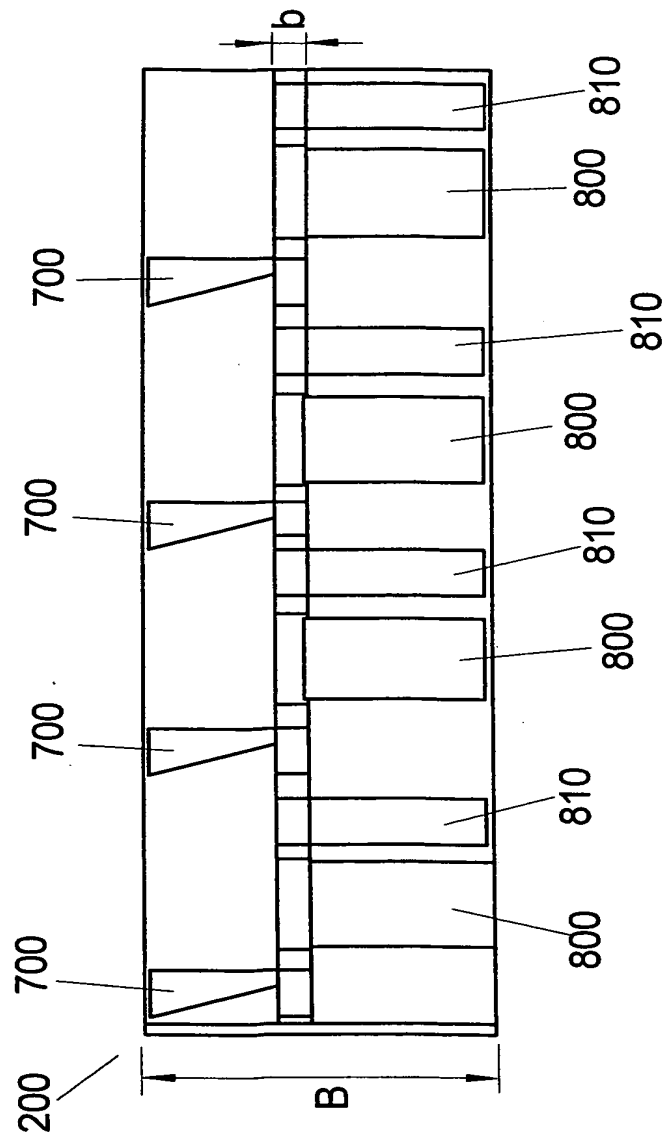
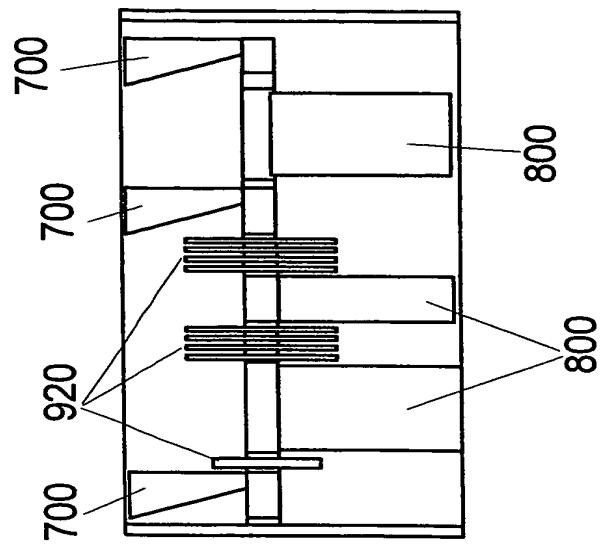
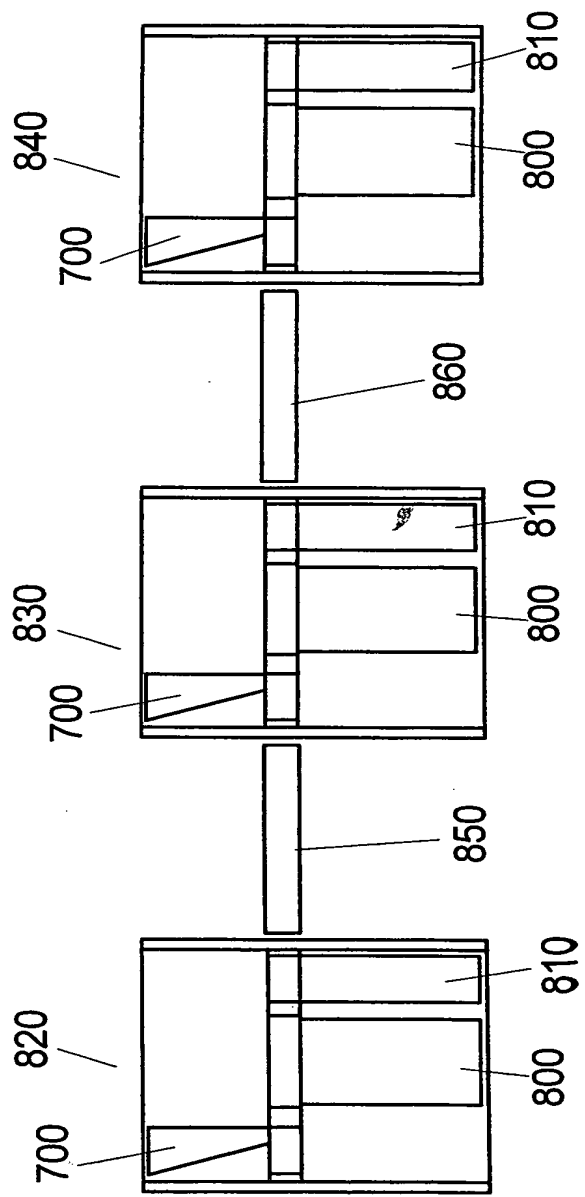


FIG 3





# Figur der Zusammenfassung

## FIG 1

